

**К. С. Богдан, А. А. Санкин, Н. А. Слажнев, А. Ю. Кизилова**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРУЖИННО-ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ВЕСОВЫХ УСТРОЙСТВ С ПОНДЕРОМОТОРНЫМ УЗЛОМ СИЛОВВЕДЕНИЯ ДЛЯ ДОЗИРОВАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Представлены результаты экспериментальных исследований на физических моделях пружинно-тензометрических весовых устройств с пондеромоторным узлом силовведения на основе постоянных магнитов. Определены статические характеристики и динамические свойства этих весовых устройств, отмечены их преимущества, особенно в условиях действия дестабилизирующих факторов при дозировании различных литейных материалов. Даны рекомендации по выбору рациональных параметров узла силовведения с учетом условий эксплуатации и требований метрологии в широком диапазоне взвешивания и дозирования литейных материалов.*

**Ключевые слова:** тензометрический датчик, узел силовведения, упругий элемент, весовое устройство, микропроцессор, литейные материалы.

*Представлено результати експериментальних досліджень на фізичних моделях пружно-тензометричних вагових пристроїв з пондеромоторним вузлом силовведення на основі постійних магнітів. Визначено статичні характеристики та динамічні властивості цих вагових пристроїв, відмічені їх переваги, особливо в умовах дії дестабілізуючих факторів при дозуванні різноманітних ливарних матеріалів. Дані рекомендації щодо вибору раціональних параметрів вузла силовведення з урахуванням умов експлуатації і вимог метрології у широкому діапазоні зважування та дозування ливарних матеріалів.*

**Ключові слова:** тензометричний датчик, вузол силовведення, пружний елемент, ваговий пристрій, мікропроцесор, ливарні матеріали.

*The results of experimental studies on physical models of spring-strain weighing devices with ponderomotive force-inputting unit are based on permanent magnets. There are defined static characteristics and dynamic properties of its weighted devices, and marked advantages especially in destabilizing factors action in the metering of various casting materials. Also there ecommendations on the rational parameters choice for force-inputting unit with regard to the conditions and requirements of metrology in a wide range of weighing and dosing of casting materials.*

**Keywords:** Strain sensor, force-inputting unit, elastic element, weight unit, microprocessor, casting materials.

### **Введение**

**В** технологических процессах металлургии и литейного производства весодо-зирующее оборудование чаще всего работает в условиях действия различных дестабилизирующих факторов, отрицательно влияющих на конечный результат – качество выпускаемой продукции. Наиболее уязвимыми являются силоизмерительные элементы весовых устройств при работе в условиях действия систематических либо случайных ударных нагрузок. При этом ухудшаются метрологические показатели весовых устройств, вплоть до выхода их из строя.

Современные так называемые чистые тензометрические весы, выпускаемые ведущими зарубежными фирмами для нужд металлургических производств, имеют высокие метрологические показатели [1-3]. Так, допустимая погрешность

## Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

взвешивания для широкой номенклатуры таких весов по данным фирмы Schenck (ФРГ) составляет 0,02-0,05 % от наибольшего предела взвешивания (НПВ). Вместе с тем, их перезагрузочная способность в статике составляет 150 %, а пиковая перегрузка – 300 % от НПВ, что ограничивает применение этих весов в некоторых металлургических процессах [4].

*Цель работы* – экспериментальное определение метрологических характеристик пружинно-тензометрических весовых устройств с пондеромоторным узлом силового введения путем физического моделирования. Задача работы заключается в изучении эффективности предложенного нового технического решения пружинно-тензометрического весового устройства в сравнении с существующими аналогами.

### *Основной материал исследований*

Результаты ранее выполненных экспериментальных исследований и заводских испытаний пружинно-тензометрических платформенных весов с узлом силового введения на основе калиброванной пружины сжатия подтвердили их надежность и повышенную перезагрузочную способность, особенно при эксплуатации в условиях систематических либо случайных ударных воздействий [5]. Наряду с этим было установлено, что применение силопередающей пружины или другого упругого элемента усложняет кинематику весов и приводит к появлению дополнительного источника погрешностей.

В Физико-технологическом институте металлов и сплавов НАН Украины разработаны новые конструкции силоизмерительных механизмов пружинно-тензометрических весов с пондеромоторным (бесконтактным) узлом силового введения на основе постоянных магнитов [6, 7]. Структурно-функциональная схема одного из таких технических решений представлена на рис. 1.

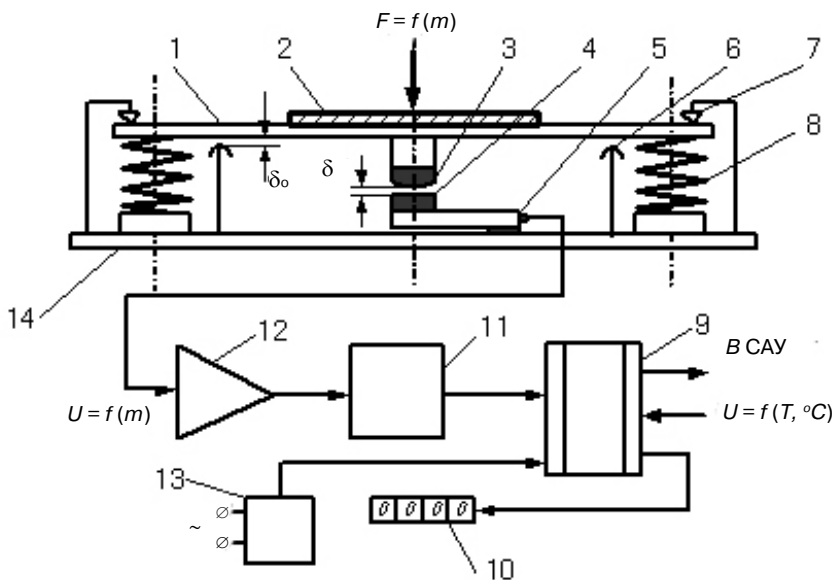


Рис. 1. Структурно-функциональная схема весов с пондеромоторным узлом силового введения в центре жесткости платформы

Платформа 1 установлена на четырех упругих элементах 8 в виде калиброванных цилиндрических пружин сжатия, закрепленных на неподвижном жестком основании 14. Перемещение платформы 1 в вертикальной плоскости при деформации упругих элементов 8 под нагрузкой ограничено нижними механическими упорами 6 и 7. На платформе 1 закреплена резиновая накладка 2. В центре жесткости платформы 1, координаты которого относительно ее центра симметрии определены по известной методике [8], укреплен верхний постоянный магнит 3 с полусферической рабочей поверхностью и возможностью его перемещения по вертикальной оси с помощью

## Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

специального механизма (на схеме не показан). Нижний постоянный магнит 4 с плоской рабочей поверхностью закреплен на силовом входе силоизмерительного тензорезисторного датчика 5 соосно с магнитом 3. Датчик 5 закреплен на основании 14 с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости по двум координатам ( $x$ ,  $y$ ) при наладке весов. Одноименные полюсы магнитов 3 и 4 направлены навстречу друг другу, в результате чего магниты работают на отталкивание. Между магнитами 3 и 4 установлен калиброванный воздушный зазор  $\delta$ , величина которого зависит от магнитной силы каждого из них, жесткости упругого подвеса платформы 1 и номинальной нагрузки датчика 5. Выход датчика 5 через усилитель 12 и аналого-цифровой преобразователь 11 подключен к микропроцессорному блоку 9 измерения и индикации массы на цифровом индикаторе 10. Питание элементов весоизмерительной схемы осуществляется от блока питания 13, подключенного к сети переменного тока напряжением 220 В.

Экспериментальные исследования разработанных пружинно-тензометрических весов проводились на физической модели по стандартной методике с использованием эталонных гирь IV разряда при НПВ 1000 г. Прежде всего были определены все основные метрологические показатели весоизмерительной системы: порог чувствительности в начале, середине и конце диапазона взвешивания (20, 50, 80 %) от НПВ; верность показаний цифрового индикатора 10 путем нагружения платформы 1 по центру контрольными гирями от «0» до НПВ; погрешность измерений от расположения груза на платформе с использованием метода угловых испытаний путем пятикратного нагружения платформы 1 гирей, масса которой составляет 0,1 НПВ в девяти точках платформы 1. После статистической обработки результатов измерений были определены средняя и среднеквадратичная погрешности, а также коэффициент вариации.

После этого были сняты статические характеристики  $C = f(m_i)$  для двух значений магнитной силы  $F_m$  постоянных магнитов 3 и 4 (рис. 2). Анализ зависимостей  $F_m = f(\delta)$  в диапазоне 1 мм показал, что погрешность от нелинейности не превышает 0,5 % от НПВ. При линейризации этой зависимости программным путем в блоке 9 относительная погрешность взвешивания составила 0,05 % от НПВ.

Для защиты датчика 5 от статических и динамических перегрузок взвешивания в условиях систематических либо случайных ударных воздействий зазор  $\delta_0$  между ограничителями 6 и платформой 1 установлен на 10-20 % меньшим, чем зазор  $\delta$  между магнитами 3 и 4. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что предложенная конструкция пружинно-тензометрических весов работоспособна в условиях систематических либо случайных ударных воздействий, а также может быть использована для измерения массы и дозирования материалов при автоматизации литейных и металлургических технологий.

Для упрощения процесса изготовления, юстировки и наладки пружинно-тензо-

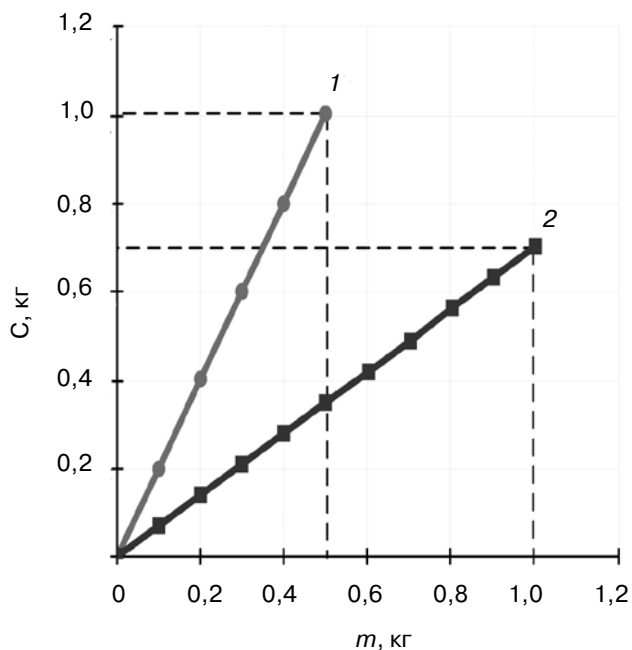


Рис. 2. Статические характеристики устройства: 1 —  $F_m = \max$ ; 2 —  $F_m = \min$

## Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья

трических весов была разработана новая конструкция пондеромоторного механизма силового введения [9], позволяющая располагать его в центре симметрии платформы (рис. 3). Платформа 1 установлена на четырех упругих элементах 6 двойного изгиба, закрепленных на неподвижном основании. Перемещение платформы 1 в вертикальной плоскости под действием погрузки ограничено упорами 3. Платформа 1 снабжена резиновой накладкой 2.

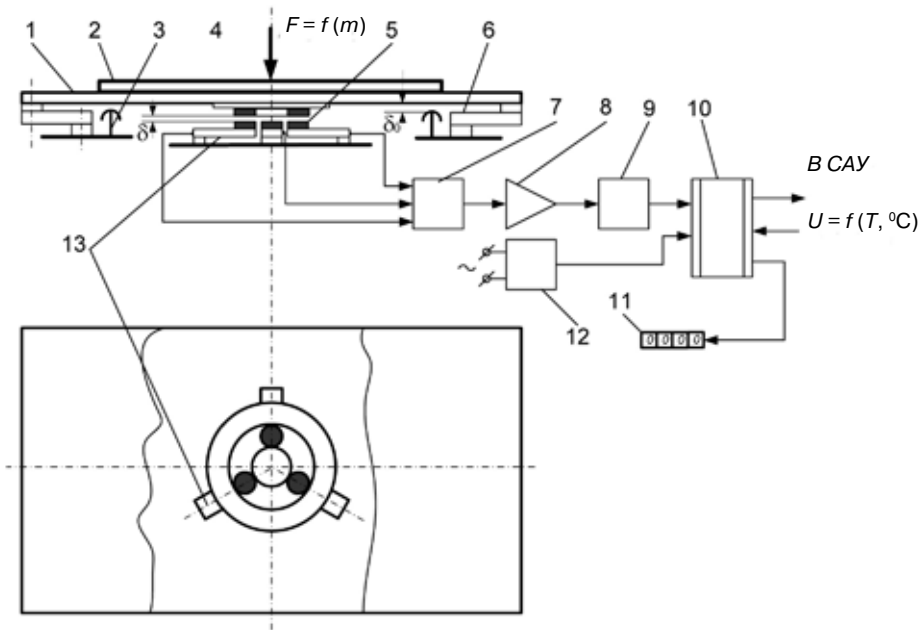


Рис. 3. Структурно-функциональная схема пружинно-тензометрических весов с узлом силового введения в центре симметрии платформы

В центре симметрии платформы закреплен кольцевой постоянный магнит 4, под которым расположены три силоизмерительных тензометрических датчика 13, установленных на неподвижном основании под углом  $120^\circ$  относительно друг друга в горизонтальной плоскости. На силовом входе каждого датчика закреплен постоянный стержневой магнит 5. Между рабочими поверхностями магнита 4 и магнитов 5 с одинаковой полярностью предусмотрен калиброванный воздушный зазор  $\delta$ , величина которого зависит от жесткости упругих элементов 6, магнитных характеристик магнитов 4 и 5, а также от диапазона взвешивания. Датчики 5 подключены к сумматору 7, выход которого через усилитель 8 и аналого-цифровой преобразователь 9 соединен с входом микропроцессорного блока 10 измерения и индикации массы, один из выходов которого подключен к цифровому индикатору 11 массы, а второй выход является источником информации для системы автоматического управления (САУ) тем или иным технологическим процессом. От блока 12, подключенного к сети переменного тока напряжением 220В, осуществляется питание элементов схемы измерения массы.

Для защиты датчиков 5 от статических и динамических перегрузок в процессе взвешивания зазор  $\delta_0$  между упорами 3 и платформой 1 устанавливается на 10-20 % меньше, чем фиксированный начальный зазор  $\delta$  между магнитами 4 и 5.

Основным преимуществом этих пружинно-тензометрических платформенных весов в сравнении с ближайшим аналогом (см. рис. 1) является размещение узла силового введения в центре симметрии грузоприемной упруго подвешенной платформы, а не в центре жесткости. Это стало возможным благодаря исполнению узла силового введения в виде кольцевого магнита 4, закрепленного в центре симметрии платформы 1, и трех стержневых магнитов 5, каждый из которых закреплен на си-

## **Проблемы автоматизации, механизации и компьютеризации процессов литья**

ловом входе соответствующего силоизмерительного датчика 13, причем датчики 5 расположены под углом  $120^\circ$  относительно друг друга в горизонтальной плоскости. Такая конструкция узла силоведения дает возможность получить сигнал  $U_m = f(m)$  независимо от отклонений по жесткости упругих элементов 13, а следовательно, отпадает необходимость определения координат центра жесткости платформы 1 и закрепления по его оси узла силоведения.

Экспериментальные исследования, выполненные на физической модели этих весов с НПВ 1000 г, дали положительные результаты. Основные метрологические характеристики находятся на том же уровне, что и весов (см. рис. 1), это создает определенные условия для получения экономического эффекта при их внедрении в производство и в процессе эксплуатации.

### **Выводы**

- Представлены новые технические решения пружинно-тензометрических платформенных весов с пондеромоторным узлом силоведения для автоматизации литейных и металлических технологий.
- Установлено, что метрологические характеристики разработанных весов отвечают требованиям, предъявляемым к технологическим весам данного класса.
- Полученные экспериментальные данные будут использованы при разработке опытных образцов пружинно-тензометрических весов повышенной ударостойкости.



### **Список литературы**

1. Бауман Э. Измерение сил электрическими методами. – М.: Мир, 1978. – 381 с.
2. Брауэр М. Системы взвешивания в технологических линиях производства стали // Металлургическое производство и технология. – 2007. – № 1. – С. 30-45.
3. Гроссман Н. Я., Шнырев Г. Д. Автоматизированные системы взвешивания и дозирования. – М.: Машиностроение, 1988. – 296 с.
4. Средства и системы автоматизации литейного производства /К. С. Богдан, В. Н. Горбенко, В. М. Денисенко, Ю. П. Каширин. – М.: Там же. – 1981. – 272 с.
5. Богдан К. С. Конструктивные особенности и динамические свойства пружинно-тензометрических дозирочных весов для литейных материалов // Процессы литья. – 2007. – № 4. – С. 71- 75.
6. Пат. 84090 на винахід UA, МПК (2006) G01G 19/00. Пристрій для зважування / К. С. Богдан, А. О. Санкін. – Опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17.
7. Пат. 68192 на корисну модель UA, МПК G01G 19/413 (2006. 01). Електромеханічні ваги /К. С. Богдан, А. О. Санкін. – Опубл. 26.03.2012, Бюл. № 6.
8. Определение координат центра жесткости весовой упруго подвешенной платформы /К. С. Богдан, И. В. Корниец, Н. И. Тарасевич, А. А. Санкин// Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – № 6. – С.10-608.
9. Пат. 83142 на корисну модель UA, МПК (2013.01) G01G 19/00, 19/12 (2006.01). Пружно-тензометричні платформенні ваги /К. С. Богдан, М. А. Слажнев, А. О. Санкін. – Опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16.

Поступила 09.09.2014